

22

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 628 994

②① N° d'enregistrement national :

88 04343

⑤① Int Cl* : B 22 D 11/10, 27/02.

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

BEST AVAILABLE COPY

②② Date de dépôt : 28 mars 1988.

③③ Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 39 du 29 septembre 1989.

⑥③ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : *Vivès Charles Noël*. — FR.

⑦② Inventeur(s) : Charles Noël Vivès.

⑦③ Titulaire(s) :

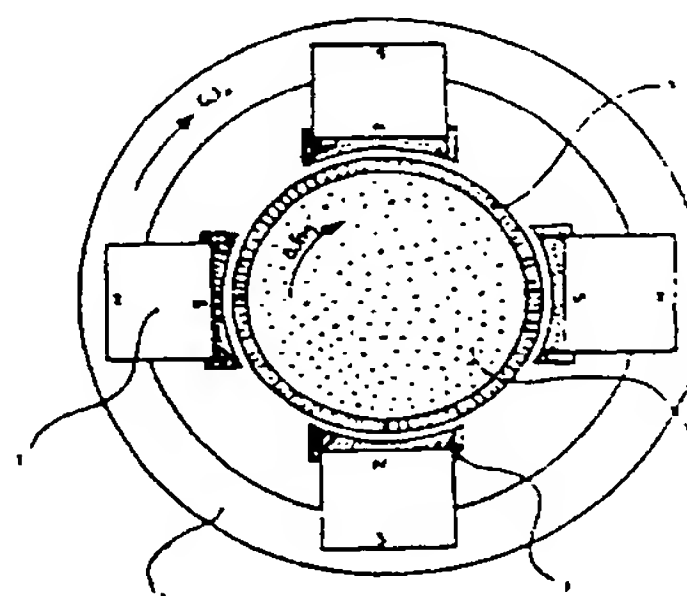
⑦④ Mandataire(s) :

⑤④ Procédé de production de gelées métalliques thixotropes par rotation d'un système d'aimants permanents disposé à l'extérieur de la lingotière.

⑤⑦ La présente invention est relative à un procédé de pro-
duction de gelées métalliques thixotropes, en coulée continue
et, également, dans des moules cylindriques et annulaires.

Le procédé utilise les propriétés des aimants permanents
tournants, pour créer des forces de cisaillement, d'origine
visqueuses, dans un alliage dont la température est inférieure à
celle du liquidus.

L'invention trouve son application en métallurgie, dans tous
les cas où on veut exploiter les propriétés des gelées métalli-
ques thixotropes, pour améliorer la mise en forme ainsi que la
structure des pièces moulées, ou des lingots, et aussi lorsqu'on
désire obtenir des matériaux composites à hautes
performances.



FR 2 628 994 - A1

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

1

PROCEDE DE PRODUCTION DE GELEES METALLIQUES THIXOTROPES PAR ROTATION
D'UN SYSTEME D'AIMANTS PERMANENTS DISPOSE AUTOUR DE LA LINGOTIERE

La présente invention est relative à l'application d'un champ magnétique tournant pendant la solidification des alliages métalliques, dans un intervalle de température compris entre le liquidus et le solidus, dans le but de produire des gelées métalliques thixotropes, en moules ou en lingotière de coulée continue.

La technique ancienne et répandue, consiste à conduire un métal liquide et surchauffé dans un moule, dans lequel il se solidifie. Alors que la structure du métal, coulé en continu (billettes, ou plaques), subit d'importantes transformations lors du formage ultérieur (laminage, par exemple), la structure des pièces moulées ne peut être modifiée, que dans une très faible mesure, dès que la solidification est terminée (traitement thermique). Les pièces obtenues par ce procédé peuvent présenter de nombreux défauts : important phénomène de retrait, porosité excessive, remplissage défectueux, structure cristalline grossière, etc...

Une autre technique, très rarement adoptée, consiste en la préparation de gelées métalliques thixotropes. On appelle thixotropes, les corps fluides, ou pâteux, dont la viscosité apparente a tendance à décroître rapidement et significativement dans le temps, quant on les soumet à une contrainte de cisaillement constante.

La technique d'obtention de ces gelées consiste en la combinaison d'une opération de brassage de l'alliage métallique et d'un refroidissement lent, en la présence simultanée de phases solide et liquide (c'est-à-dire dans un intervalle de températures compris entre le liquidus et le solidus). On obtient ainsi un mortier visqueux, ou gelée, composé de particules sans dendrites, de forme sphéroïdales, en suspension. Cette gelée, lorsqu'elle est soumise à une intense agitation, est caractérisée par un comportement visqueux non newtonien. Lorsque la fraction solide f_s est comprise entre 0 et 10 %, la vitesse caractéristique de brassage diminue, puis augmente considérablement, pour $f_s > 10$ %, à condition qu'un certain seuil de force de cisaillement soit atteint. Autrement dit, la viscosité

apparente de l'alliage diminue fortement lorsque les forces de frictions visqueuses augmentent. Cette gelée, dont les propriétés visqueuses rappellent celles d'un sorbet en préparation, peut ensuite être coulée, soit dans un moule, soit continûment sous forme de lingots.

5

La coulée de cette gelée dans un moule de forme quelconque et selon une technique quelconque (par gravité, sous pression, etc...) se traduit par les avantages suivants :

- 10
- diminution marquée de la surchauffe initiale de l'alliage entraînant une économie d'énergie et une diminution de l'oxydation ;
 - meilleur remplissage des moules,
 - disparition du phénomène de retrait,
 - porosité tendant vers zéro,
- 15
- amélioration très marquée de la structure cristalline du métal solidifié dans le moule, qui est constituée par des particules globulaires sans dendrites, dont le diamètre moyen est compris entre 10 et 100 microns.

20

La production de ces gelées thixotropes a jusqu'ici été obtenue par l'utilisation d'agitateur à palettes, ou de rotor du type Couette (rotation d'un des cylindres d'un creuset annulaire). Ces dispositifs d'entraînement mécanique présentent les inconvénients importants :

- 25
- abrasion très rapide du rotor cylindrique, ou des palettes, qui doivent fréquemment être remplacés ;
 - pollution de l'alliage par le matériau constituant l'agitateur mécanique ;
 - production d'un faible volume de gelée (nettement inférieur au litre).

30

Pour ces raisons, les avantages présentés par la production de telles gelées n'ont pu être exploités à l'échelle industrielle, ni pour les moules de grande capacité, ni pour les lingots de grandes tailles.

35

La présente invention vise à remédier aux inconvénients énumérés ci-dessus, et à produire, à l'échelle industrielle, des gelées métalliques thixotropes, sans contact, ni avec l'alliage, ni avec le creuset.

L'invention consiste à utiliser les propriétés d'un champ magnétique à répartition spatiale périodique, créé par des aimants permanents.

Le dispositif selon l'invention consiste principalement en un rotor annulaire (ou inducteur) et un creuset, généralement cylindrique, contenant l'alliage.

5 Le rotor est formé par un anneau en matériau ferromagnétique doux, ou en acier inox, dans lequel a été fraisé un nombre pair $2p$ de cannelures de largeur e , selon les génératrices du cylindre intérieur (c'est-à-dire, parallèlement à l'axe de révolution du rotor). Des aimants permanents, de largeur e et de longueur L , sont encastrés dans ces rainures selon l'arrangement suivant :

- 10 - toutes les faces extérieures des aimants encastrés dans une rainure déterminée correspondent à des pôles de même nom. L'ensemble k aimants contenus dans une rainure constitue un pôle magnétique (au sens large), de largeur e et de longueur kL ;
- 15 - les pôles sont disposés alternativement selon une répartition azimutale sud-nord, lorsque l'on passe d'une cannelure à la cannelure immédiatement voisine.

Le rotor comporte ainsi p paires de pôles.

20 Chacun de ces pôles est surmonté par une armature métallique, fixée par des vis au rotor. Cette armature est principalement destinée à maintenir les aimants.

25 Les aimants permanents qui composent ces pôles peuvent être de formes variées (parallélépipédiques, incurvés, en forme d'arceaux, etc...) et de compositions diverses et adaptées aux températures de fonctionnement (Ferrites, Cobalt-Terres rares, Alnico, etc...).

30 La répartition spatiale périodique du champ magnétique est très grossièrement assimilable à une sinusoïde. Cette distribution correspond plus précisément à la composition de deux termes d'une série de Fourier limitée aux harmoniques 1 (fondamental) et 3.

35 Les extrémités du rotor sont montées sur un système pallier-roulements à billes. Cet inducteur est entraîné dans un mouvement de rotation, autour de l'axe de révolution vertical du dispositif rotor-creuset, par un moteur électrique à vitesse variable. La liaison entre l'axe du

rotor et le moteur est obtenue, soit par accouplement direct, soit par un système courroies-poulies.

L'inducteur peut être refroidi, par exemple, par une arrivée d'air surpressé ; l'axe du rotor peut aussi être muni de pales, ou d'hélices, destinées au refroidissement par air.

L'alliage est contenu dans un creuset, ou dans une lingotière, dont la position est fixe et dont l'axe de révolution est confondu avec celui du rotor. Les matériaux entrant dans la construction du creuset, ou de la lingotière, peuvent être divers (graphite, acier inox, aluminium, etc.) Le creuset, ou la lingotière, qui peuvent être cylindrique ou annulaire, sont logés dans la cavité cylindrique intérieure au rotor.

Lorsque l'inducteur est en rotation, l'alliage fondu est soumis à un champ magnétique variable dans le temps, en chaque point d'une couche périphérique dont l'épaisseur est approximativement, celle de la peau électromagnétique $\delta = \sqrt{2/\omega\sigma\mu}$ où ω , σ et μ sont respectivement, la pulsation du champ magnétique, la conductivité électrique et la perméabilité magnétique de l'alliage) ; il en résulte la création de courants électriques induits. Des forces électromagnétiques de volume, dues à l'interaction du champs magnétique et des courants induits, entraînent alors le mélange diphasique constituant l'alliage dans le sens de la rotation de l'inducteur. Il est évident, qu'en raison de la disposition verticale des pièces polaires, l'amplitude de la composante azimutale de la vitesse est très nettement privilégiée.

Dans le cas de la coulée en moule, la gelée métallique est préparée selon le processus suivant : l'alliage fondu, surchauffé d'environ 50°C au dessus de la température du liquidus, est introduit dans le moule, dans lequel il se refroidi lentement. L'inducteur est d'abord mis en rotation avec une vitesse faible (de l'ordre de 100 T/mn) afin d'homogénéiser la température du bain, puis à pleine vitesse (entre 500 et 3000 T/mn, selon les alliages) lorsque la température est légèrement inférieure à celle du liquidus.

Dans le cas de la coulée continue, qui est bien connue de l'homme de l'art, le métal est amené d'un four de fusion par l'intermédiaire d'un

5 système chenal-goulotte, à une température régulée et voisine de celle du liquidus. La encore, selon une technique bien connue de l'homme de l'art, l'extrémité inférieure de la lingotière est d'abord obturée par un faux-fond, jusqu'à l'apparition de la gelée thixotrope provoquée par la rotation adéquate de l'inducteur. Le faux-fond soutenant le lingot amorce ensuite une descente à vitesse uniforme tandis que le lingot est refroidi au moyen d'une boîte à eau, disposée au bas de la lingotière.

Le dispositif selon l'invention présente de nombreux avantages :

- 10 - il est de conception et de réalisation simple et fiable,
- il agit sans contact et donc sans risque de pollution du métal liquide ;
- contrairement au cas des inducteurs polyphasés, les aimants permanents n'absorbent pas de puissance active, ni réactive. Il en résulte que
15 l'énergie absorbée est faible, de l'ordre du kilowat/heure pour une production d'une tonne d'alliage d'aluminium ;
- l'intensité de brassage peut être modulée avec souplesse, par variation de la vitesse du moteur d'entraînement ;
- l'utilisation des gelées métalliques thixotropes permet d'améliorer la mise en forme et d'obtenir un meilleur remplissage des moules.
20 Cette propriété est particulièrement intéressante dans le cas de la production de matériaux composites, constitués par l'alliage et une matrice en matériau organique, ou autre ;
- il évite une surchauffe excessive de l'alliage, avant la coulée, ce qui se traduit par une nouvelle économie d'énergie et, de plus, réduit
25 l'oxydation de l'alliage ;
- une structure globulaire très fine et homogène remplace la structure grossière qui apparaît dans les lingots obtenus à partir des coulées traditionnelles et dans lesquels on trouve, successivement, à partir de la surface extérieure, une zone corticale puis, une zone colonnaire et une zone
30 équiaxe constituée par de gros cristaux ;
- il s'applique à la production de produits cylindriques, pleins ou creux, en moules ou en coulée continue ;
- il s'applique à tous les alliages.

35

Cependant, l'invention sera mieux comprise à l'aide des dessins

accompagnent la présente demande et qui représentent, sans caractère limitatif, des exemples de réalisations et de mise en oeuvre de dispositifs selon l'invention.

5 La figure 1 représente un exemple de coupe horizontale d'un ensemble rotor-moule cylindrique, ou rotor-lingotière de coulée continue.

La figure 2 représente un exemple de coupe verticale d'un ensemble rotor-moule cylindrique.

10 La figure 3 représente un exemple de coupe verticale d'un ensemble rotor-lingotière de coulée continue.

15 Sur la figure 1, on distingue, en coupe horizontale, les aimants permanents (1) disposés selon une répartition correspondant à une alternance répétitive sud-nord, encastrés dans une carcasse annulaire métallique (2). Ces aimants sont surmontés par une pièce métallique (3), destinée à les maintenir. Le métal liquide (4) contenu dans le moule, ou la lingotière, est maintenu par les parois verticales cylindriques (5),
20 et entraîné dans le sens de rotation du rotor.

La figure 2 représente, schématiquement, une coupe verticale où on distingue le creuset cylindrique (6) contenant le métal fondu (7). Le rotor (8) est mobile autour de son axe (9). Deux pièces polaires, composées ici de cinq aimants permanents (10), dont les faces apparentes
25 sont des pôles nord, sont présentées. L'armature métallique supérieure (11), qui maintient les aimants, est fixée au rotor (8), par des vis (12).

30 La figure 3 représente, schématiquement, la coupe verticale d'un dispositif de production continue de gélées thixotropes. Le métal fondu (13) est amené dans la lingotière (14) par un système chenal-goulotte (15). La gélée thixotrope (16) est d'abord formée par la rotation de l'inducteur (17), puis totalement solidifiée par l'eau de refroidissement
35 (18) issue de la boîte à eau (19). La partie solide du métal (20) repose sur le faux-fond (21), qui est animé d'un mouvement rectiligne descendant et uniforme.

L'invention peut être illustrée à l'aide de l'exemple, non limitatif, qui suit.

5 Une expérience a été réalisée dans un creuset cylindrique en acier inox, dont les dimensions étaient les suivantes : diamètre intérieur 80 mm, diamètre extérieur 90 mm, hauteur 250 mm. Ce creuset contenait une hauteur de 18 cm d'un alliage plomb-étain, dont les caractéristiques étaient les suivantes : 85 % Pb, 15 % Sn, liquidus 288°C, solidus 183°C, densité voisine de 10. Le rotor comportait trois paires de pôles de
10 24 mm de large et 192 mm de hauteur. Chaque pôle était composé par huit aimants permanents parallélépipédiques ALNICO 1500, de dimensions 24 x 24 x 30 mm. La valeur maximale du champ magnétique sur la paroi intérieure du creuset était de l'ordre de 0,1 T (ou 1000 gauss).

15 Le métal a été introduit dans le creuset, en état de surchauffe, puis s'est refroidi sous l'influence du milieu ambiant.

Par ailleurs, le brassage électromagnétique, correspondant à une vitesse de rotation de 1500 T/mn, a été établi lorsque la température du
20 liquidus a été atteinte. En raison de l'augmentation de la viscosité apparente du système diphasique solide-liquide, la vitesse moyenne qui était initialement de l'ordre de 200 cm.s⁻¹ a diminué, pour atteindre 70 cm.s⁻¹, vers 278°C. A partir de cette température, la vitesse de l'alliage a brusquement augmentée, pour atteindre un maximum d'environ 100 cm.s⁻¹, indiquant ainsi un changement des propriétés visqueuses de l'alliage.
25 La vitesse d'écoulement a ensuite recommencé à décroître avec la température, tandis que le milieu diphasique prenait la consistance d'une gelée métallique thixotrope, caractérisée par la présence de petits cristaux sphériques, sans dendrites, en suspension.

30 L'examen d'échantillons extraits de cette gelée a montré que le phénomène de retrait classique n'était pas perceptible et que les zones colonnaires et équiaxes, formées par de gros cristaux, obtenus dans le cas des solidifications classiques, disparaissaient complètement et étaient
35 remplacées par une structure unique constituée par des cristaux globulaires, dont le diamètre était compris entre 10 et 100 microns.

Des expériences semblables ont permis d'observer des résultats analogues pour un alliage d'aluminium 2024.

L'invention trouve son application dans tous les cas où on veut utiliser les propriétés des gelées métalliques thixotropes, pour améliorer la mise en forme ainsi que la structure des lingots, ou des pièces moulées, et aussi pour obtenir des matériaux composites à hautes performances.

REVENDICATIONS

5 1. Procédé de production en creuset de gelées métalliques thixotropes caractérisé en ce que l'on utilise les propriétés magnétiques des aimants permanents pour créer des forces de cisaillement intenses, d'origine visqueuses, dans un alliage dont la température est inférieure à celle du liquidus.

10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la gelée métallique thixotrope est produite dans un creuset, ou dans une lingotière de coulée continue, cylindrique ou annulaire.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'un champ magnétique tournant est produit par un rotor entraîné dans un mouvement de rotation, autour d'un axe vertical, par un moteur électrique.

15 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisée en ce que le rotor comprend p paires de pôles, p étant au moins égal à un.

20 5. Procédé selon les revendications 1, 3 et 4, caractérisé en ce que chaque pôle est formé par une association d'aimants permanents encastés dans des cannelures verticales, pratiquées sur la face cylindrique intérieure d'une carcasse annulaire métallique.

25 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les faces extérieures des aimants permanents encastés dans une même cannelure correspondent à des pôles magnétiques de même nom.

30 7. Procédé selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que les cannelures sont taillées parallèlement à l'axe de révolution du rotor, afin de privilégier un écoulement rotatif, c'est-à-dire la composante azimutale de la vitesse de déplacement de l'alliage.

35 8. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les pièces polaires du rotor sont disposées alternativement selon une répartition sud-nord, lorsque l'on passe d'une cannelure à une autre immédiatement voisine.

9. Procédé selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le creuset (ou la lingotière de coulée continue) est logé coaxialement dans la cavité cylindrique intérieure au rotor.

5 10. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la phase active de la production d'une gelée métallique thixotrope, pendant laquelle le champ magnétique tournant est appliqué, correspond au cas où la température de l'alliage est comprise entre celles du liquidus et du solidus.

10 11. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il s'applique à tous les alliages.

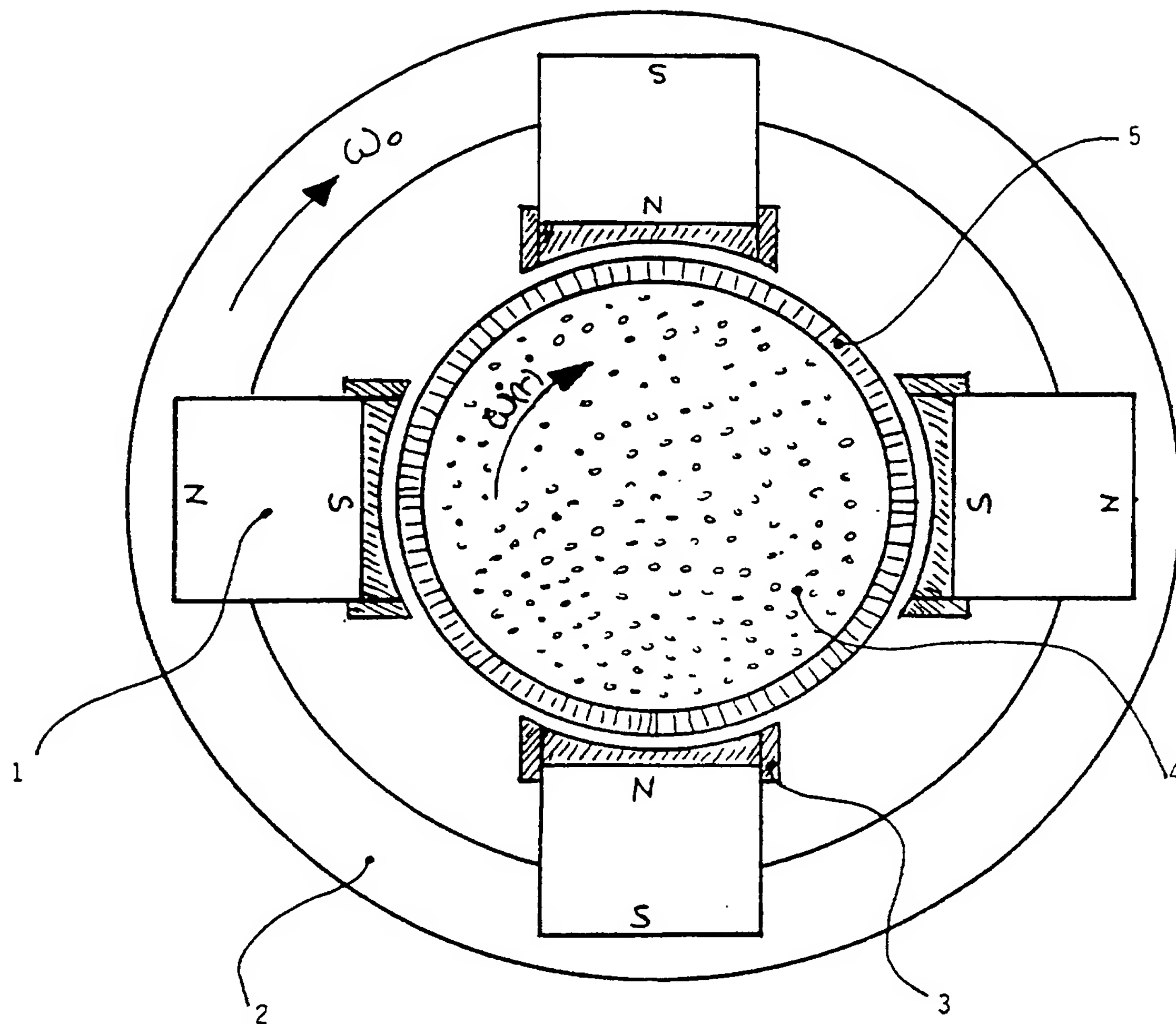


Figure 1

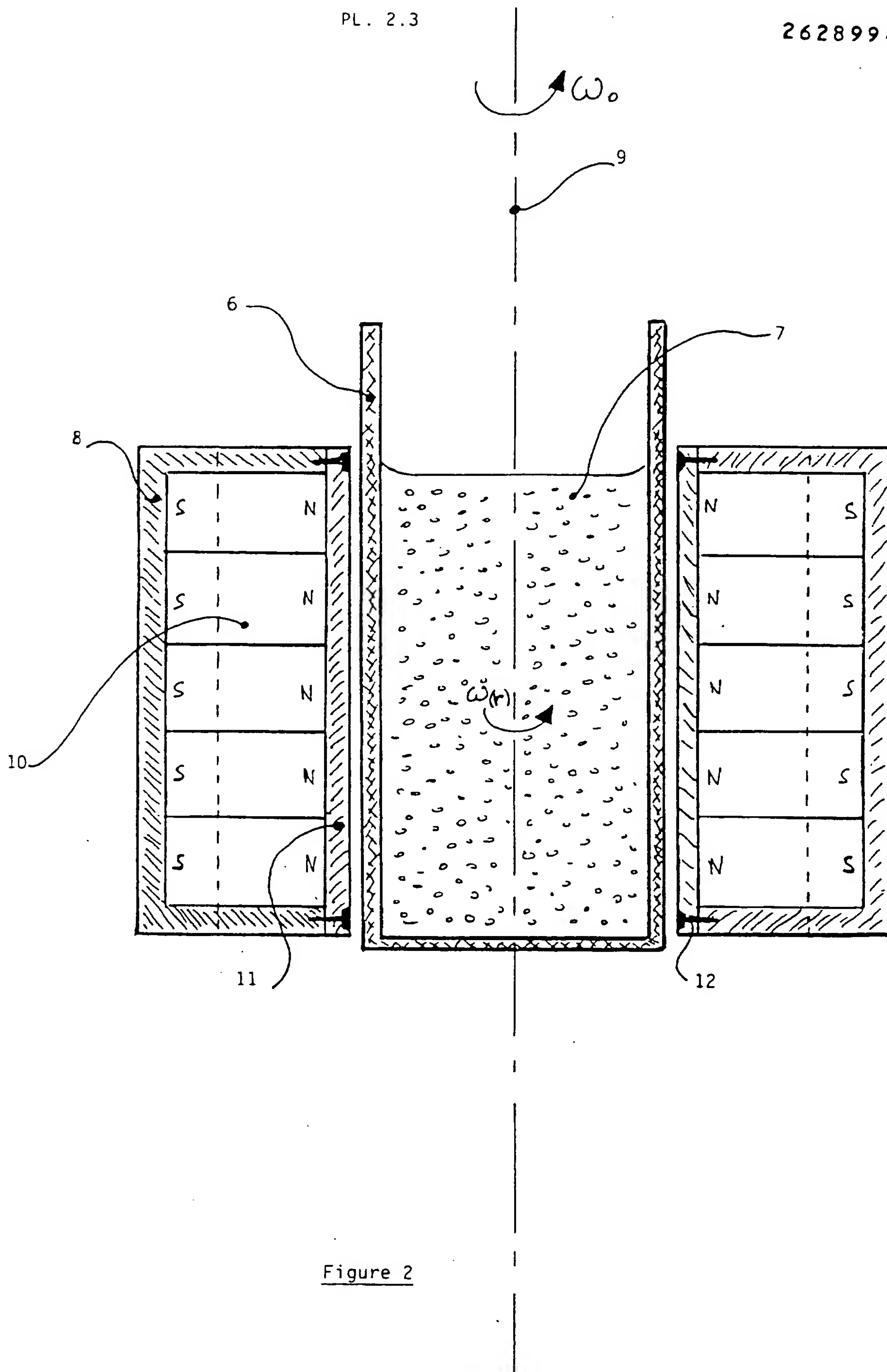


Figure 2

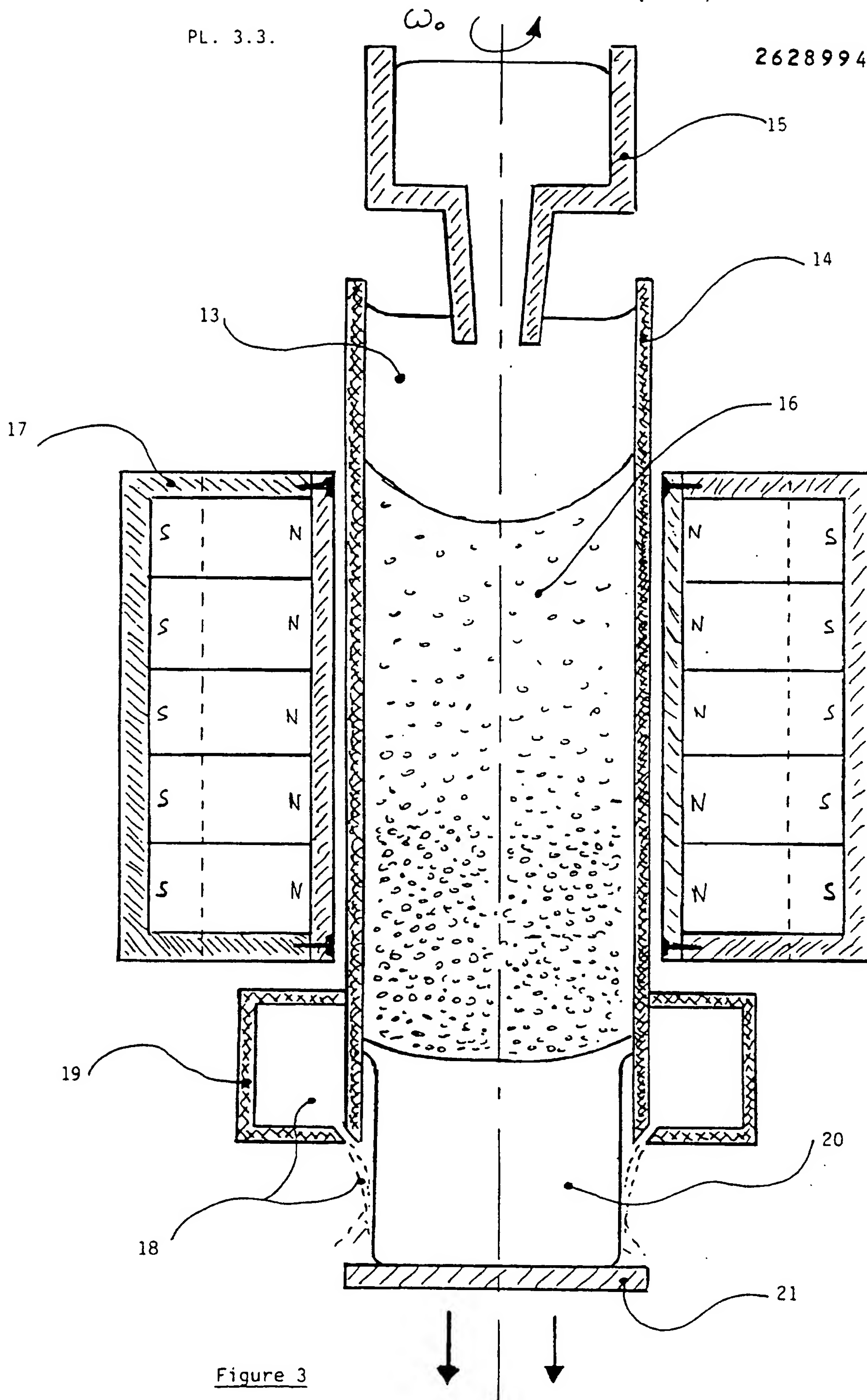


Figure 3

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)